

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Měření teplot při obrábění nástrojem z řezné keramiky

The Temperature Measuring at Cutting Tool from Ceramic
Material

Student:

Pavla Cygalová

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jiří Kratochvíl

Ostrava 2009

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byla seznámena s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́доміі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mě požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́доміі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě

.....
Jméno a příjmení studenta

.....
Adresa trvalého bydliště studenta

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

CYGALOVÁ, P. Měření teplot při obrábění nástrojem z řezné keramiky. Ostrava: katedra obrábění a montáže, Fakulta strojní VŠB-Technická univerzita Ostrava, 2009, 48s. Bakalářská práce, vedoucí: Kratochvíl, J.

Tato bakalářská práce se zabývá porovnáním vlastností dvou břitových destiček z řezné keramiky z hlediska maximálních dosažených teplot při soustružení litiny. Dále obsahuje rozbor vlastností keramických materiálů a přístrojů pro bezdotykové měření teploty.

ANNOTATION OF THESIS

CYGALOVÁ, P. The Temperature Measuring at Cutting Tool from Ceramic Material, Ostrava: Department of Working and Assembly, Faculty of Mechanical Engineering, VŠB – Technical University of Ostrava, 2009, 48p. Thesis, head: Kratochvíl, J.

The practical section in this bachelor thesis shall focus on the comparison of properties of two cutting inserts from cutting ceramics in terms of maximum temperatures during turning of cast iron. The practical section contains an analysis of ceramic material properties and instruments for contact less measurement of temperatures.

Obsah

Obsah	6
Seznam použitých značek a symbolů	7
1. Úvod	8
2. Řezná keramika	9
2.1 Výroba a vlastnosti	9
2.2 Rozdělení řezné keramiky	10
2.2.1 Oxidická keramika	10
2.2.2 Směsná oxidická keramika	11
2.2.3 Keramika vyztužená whiskery	11
2.2.4 Neoxidovaná keramika	11
2.3 Uplatnění řezné keramiky	11
3. Měření teplot a teplotního pole.....	13
3.1 Závislost teploty řezání na řezných podmínkách	14
4. Pyrometry	17
4.1 Kdy ukazují pyrometry skutečnou teplotu?	17
4.1.1 Koncept absolutně černého tělesa	17
4.1.2 Závislost chyby měření na emisivitě	19
4.1.3 Vliv atmosféry na měření.....	21
4.1.4 Vliv úhlu zaměření pyrometru	22
4.2 Výhody a nevýhody bezdotykového měření teploty	23
4.3 Optické pyrometry	23
4.4 Radiační pyrometry	25
4.5 Termografie.....	26
4.6 Obecná kritéria pro výběr a používání pyrometrů	28
5. Vlastní měření	29
5.1 Přístroje	29
5.2 Nástroj	32
5.3 Obrobek.....	35
5.4 Pracovní postup	36
5.5 Vyhodnocení měření.....	38
6. Závěr	45
Seznam použité literatury	46
Přílohy	48

Seznam použitých značek a symbolů

Značka	Název	Jednotka
a	tloušťka třísky	mm
ap	hloubka řezu	mm
b	šířka třísky	mm
c	koeficient	
CVD	chemické povlakování	
D	průměr polotovaru	mm
E	modul pružnosti	MPa
f	posuv	m·min ⁻¹
H	intenzita záření	W·m ⁻²
HB	tvrdost	
k _{vHB}	korekce na tvrdost obrobku	
k _{vM}	korekce na materiál	
k _{vT}	korekce na trvanlivost	
k _{vX}	korekční součinitel stavu stroje	
n	otáčky	mm ⁻¹
P _{s,f,r}	nástrojová rovina ostří, boční, základní	
PVD	fyzikální povlakování	
R	reostat	
R _m	mez pevnosti	MPa
r _e	zaoblení špičky	
SGAC	Gobain Advanced Ceramics s.r.o, Turnov	
SK	slinutý karbid	
T	teplota	°C
T _s	konstantní teplota černého tělesa	°C
v	rychlost	m·min ⁻¹
VB _h	opotřeбенí hlavního hřbetu nástroje	mm
VB _v	opotřeбенí vedlejšího hřbetu nástroje	mm
V _{KR}	kritická řezná rychlost	m·min ⁻¹
V _{SV}	super vysoká řezná rychlost	m·min ⁻¹
V _T	výsledná řezná rychlost	m·min ⁻¹
V _{Tab}	tabulková řezná rychlost	m·min ⁻¹
X _T	exponent	
Y _T	exponent	
Z _T	exponent	
Ž	žárovka	
ε	emisivita	
ε _r	nástrojový úhel špičky	°
κ _r	úhel nastavení vedlejšího ostří	°
κ _r	úhel nastavení hlavního ostří	°
λ	vlnová délka	m
λ _{ef}	efektivní vlnová délka	m
π	Ludolfovo číslo	
ψ _r	nástrojový doplňkový úhel nastavení	°

1. Úvod

Modernizace výroby a zavádění nových technologií klade vysoké nároky nejen na stroje používané v procesu obrábění, ale i na nástroje s břitovými destičkami. Pro hromadnou a velkosériovou výrobu se dnes i pro svou efektivnost a odolnost ve srovnání se slinutými karbidy stále více používají břitové destičky z řezné keramiky.

Obráběcí stroje, na kterých se řezná keramika používá, musejí zajišťovat dostatečný výkon, tuhost upnutí a rozsah otáček.

Prvotním impulzem pro zadání této bakalářské práce byla poptávka firmy Saint Gobain Advanced Ceramics s.r.o, Turnov (dále jen SGAC) s cílem porovnání dvou břitových destiček jejich výroby při soustružení předem daného typu litiny. Pro rozsáhlost jejich požadavků na zhodnocení výsledků, bylo téma rozděleno na dvě bakalářské práce, přičemž tato práce se zabývá teplotními parametry a druhá bakalářská práce se věnuje opotřebení.

SGAC, je největším výrobcem keramiky ze skupiny Saint-Gobain a zároveň největším výrobcem v odvětví keramiky ve střední Evropě. Při jejím vzniku padla volba na Turnov v první řadě díky know-how v oblasti zpracování speciálních materiálů při výrobě biokeramiky a dalších High-Tech keramik technologiemi lisování, broušení, lapování, leštění apod. V druhé řadě to byla pozice České republiky v Evropě a další okolnosti jako např. způsoby komunikace, odborné znalosti pracovníků a také cena pracovních sil.

V dnešní době se SGAC zabývá třemi hlavními výrobními aktivitami. První je výroba keramických těsnících destiček do vodovodních baterií, montáž a prodej kompletních vložek do pákových baterií. Druhou aktivitou je výroba keramických filtrů na roztavené kovy pro slévárenství. Třetí oblast zahrnuje speciální technickou keramiku, jako jsou řezné nástroje (vyměnitelné břitové destičky pro obrábění kovů), nástroje na tváření trubek, dílce z elektrokeramiky a náročné výrobky z High-Tech keramiky.

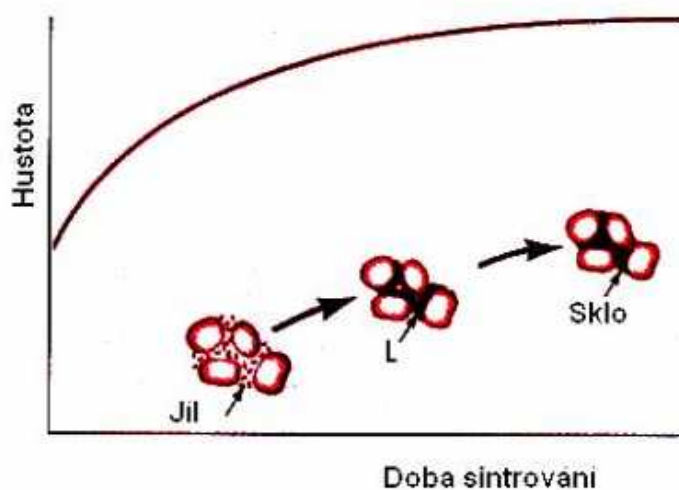
2. Řezná keramika

První skutečně použitelný řezný materiál na bázi Al_2O_3 vyvinula německá firma Degussa už během 2. světové války. Nízká houževnatost a velký rozptyl vlastností způsobily, že k významnějšímu rozšíření tohoto materiálu nedošlo. Teprve intenzivní výzkum směřující k získání jemnozrnné struktury, větší pevnosti v ohybu a odolnosti proti tepelným rázům vedl koncem 50. let k rozšíření keramiky na bázi Al_2O_3 . Ve druhé polovině 80. let se objevila keramika vyztužená whiskery SiC , kterými se podařilo zvýšit lomovou houževnatost na dvojnásobek. Vedle řezné keramiky na bázi Al_2O_3 se vynořila neoxidická keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 , jejíž vysoká houževnatost a odolnost proti tepelným rázům umožňují výrazné zvýšení posuvů, obrábění přerušovaným řezem a případné chlazení řeznou kapalinou. [5]

2.1 Výroba a vlastnosti

Výroba řezné keramiky je obdobná výrobě jiných práškových slinutých karbidů. Výchozí surovinou jsou velmi čisté a jemnozrnné prášky základních surovin, které se dokonale mísí, tvarují, suší, slinují (nad $1600\text{ }^\circ\text{C}$) a nakonec upravují do požadovaného tvaru. Na rozdíl od slinutých karbidů však neobsahují keramické břitové destičky prakticky žádnou pojící fázi. [5]

Na obrázku 2.1 je znázorněna závislost hustoty keramiky na době sintrování (spékání), což je jeden ze způsobů úpravy keramiky. [7]



Obrázek 2.1 Závislost hustoty na době sintrování [7]

Keramika má některé velmi dobré a v praxi využitelné vlastnosti. Většina keramik je výborným izolátorem (ale na druhé straně vysokoteplotní supravodiče mají rovněž strukturu keramik). Mají poměrně malou hustotu a patří k vůbec nejtvrdším látkám, proto jsou velmi dobrým konstrukčním materiálem ve stavebnictví a ve strojírenství. Většině z nich však chybí kujnost. [7]

V oblasti řezných materiálů jsou keramické materiály s výhodou využívány především pro tyto vlastnosti [5]:

- vysokou tvrdost,
- nízkou měrnou hmotnost,
- odolnost proti působení vysokých teplot,
- odolnost proti mechanickému namáhání,
- odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi,
- dostupnost základních surovin z domácích zdrojů,
- poměrně nízká cena.

S teplotou ohybová pevnost keramiky klesá, z počátku pozvolna, za vysokých teplot rychleji. I když keramické materiály mají za studena většinou nižší pevnost než materiály kovové, uchovávají si ji až do značně vysokých teplot, kdy u kovů již dochází k prudkému poklesu pevnosti. [7]

Pevnost keramiky je snižována zejména v důsledku působení těchto faktorů [5]:

- strukturní defekty atomárních a submikrometrických rozměrů,
- vady a koncentrátoři napětí příslušející mikrostruktuře,
- povrchové mikrotrhlínky a vady,
- trhlínky a vady vzniklé nesprávným technologickým postupem.

2.2 Rozdělení řezné keramiky

2.2.1 Oxidická keramika

Historicky nejstarším materiálem je čistá oxidická keramika s relativně nízkou houževnatostí a odolností proti teplotnímu rázu, s vysokou odolností proti opotřebení a vynikající chemickou stálostí. Materiál se lisuje za studena buď běžným způsobem, nebo tzv. vakuovou extruzí (tlakem šneku přes tvarové ústí) a slinuje se při teplotách kolem

1600°C. Je možné použít i lisování za tepla v grafitové formě, kdy při lisování dochází současně ke slinutí. [5]

2.2.2 Směsná oxidická keramika

Směsná oxidická keramika je tvořena směsí oxidu hlinitého Al_2O_3 a neoxidických materiálů TiC , TiN a dalších v objemu asi 20 - 40 %. Materiál má lepší tepelnou vodivost, odolnost proti tepelným rázům a vyšší pevnost v ohybu. Přísady totiž spolu s ZrO_2 absorbují energii v oblastech tahového napětí na čele trhliny, a tím zvyšují houževnatost keramiky. Destičky se vyrábí obvykle lisováním za tepla a mají charakteristickou černou barvu. [5]

2.2.3 Keramika vyztužená whiskery

V případě keramiky vyztužené whiskery se obvykle jedná o čistou keramiku s přídavkem asi 25 až 45 % objemu whiskerů SiC . Whiskery jsou monokrystalická vlákna o průměru 0,1 až 1 μm a délky 20 až 30 μm . Jejich vysoká mechanická pevnost způsobuje vyztužení matrice Al_2O_3 , a tím zvýšení pevnosti v ohybu. Nejvýznamnější funkcí whiskerů v matrici je ale snížení náchylnosti k šíření trhlin, a tím k vyštípování a vylamování materiálu břitů. Zlepšuje se též mez únavy při střídavém namáhání stroje a roste odolnost proti tepelným šokům, takže řeznou keramiku vyztuženou whiskery je možné obrábět pod řeznou kapalinou. [5]

2.2.4 Neoxidovaná keramika

Neoxidovaná keramika na bázi nitridu křemíku Si_3N_4 byla po roce 1970 vyvinuta firmou Lucas ve Velké Británii. Z hlediska obrábění má vyšší lomovou houževnatost než směsná keramika, má výrazně vyšší tepelnou vodivost a nižší citlivost na tepelné rázy. Vzhledem k nižší chemické stabilitě není vhodná pro obrábění oceli. Slinutý nitrid křemíku je vyroben slinováním Si_3N_4 se zhutňovacími přísadami při teplotách 1600 – 1800 °C v dusíkové atmosféře o tlaku 1 - 10 MPa. [5]

2.3 Uplatnění řezné keramiky

Spolu s cermety pokrývá keramika oblasti aplikace původně obsazené slinutými karbidy, zejména soustružení, vrtání a frézování šedé litiny, žáruvzdorných a žáropevných slitin, zušlechťených ocelí, tvárné a temperované litiny a do určité míry i ocelí.

Keramické vyměnitelné břitové destičky mají jednodušší tvar než destičky ze SK. Utváření třísky se řeší jednoduchým předlisováním nebo vybroušeným stupínkem nebo přiloženou karbidovou destičkou. Také keramické vyměnitelné břitové destičky je možné povlakovat, a to metodou CVD i PVD. Povlakováním řezné keramiky se sice podstatně nezvýší tvrdost, změní se ale třecí poměry mezi nástrojem a obrobkem, zvýší se mez únavy a odolnost proti vzniku povrchových trhlin. [5]

Keramika má většinou vysoký bod tání a poměrně nízkou hustotu. Proto je předurčena pro využití v automobilovém, leteckém a kosmickém průmyslu. Vyšší pracovní teplota spalovacího motoru totiž zvyšuje jeho účinnost a nižší hmotnost motoru ještě dále tento trend podporuje. Takové moderní motory, založené na bázi keramik Si_3N_4 , SiC , Al_2O_3 a ZrO_2 mají navíc další výhodu – jsou otěruvzdorné. [7]

Pro efektivní využití řezné keramiky jsou kladeny nároky na dodržení určitých zásad. Většina druhů řezných keramik má jen úzkou specifickou oblast využití, viz tabulka 2.1. [12]

Tabulka 2.1 Oblasti použití různých druhů řezné keramiky [12]

Druh řezné keramiky	Charakteristické použití řezné keramiky	Charakter řezu
Al_2O_3	obrábění šedé litiny a konstrukčních ocelí nepřerušovaným řezem vysokými rychlostmi za sucha	dokončovací operace
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$	obrábění šedé, tvárné a temperované litiny, konstrukčních i zušlechtěných ocelí za sucha	střední a dokončovací operace, částečně přerušovaný řez
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	obrábění kalených ocelí a těžko obrobitelných materiálů s částečně přerušovaným řezem za sucha i s chlazením obrábění šedé litiny a tvrzených litin	střední a dokončovací operace včetně středního a dokončovacího frézování
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{whiskery SiC}$	obrábění žáruvzdorných a žárupevných materiálů a kalené oceli	hrubovací i dokončovací operace při soustružení i frézování
keramiky na bázi Si_3N_4	obrábění všech druhů litin, slitin na bázi Ni za sucha i s chlazením	hrubovací i dokončovací operace při soustružení i frézování

3. Měření teplot a teplotního pole

Stanovení optimálních režimů práce obráběného nástroje je velmi důležitým technologicko-ekonomickým úkolem při obrábění nových, méně známých nebo hůře či dokonce těžkoobrobitelných materiálů. I v tomto případě může být optimalizace řezných procesů uskutečňována pouze na základě zkoumání fyzikální existence jevů doprovázejících proces řezání, na základě rozboru zákonitostí otupování nástroje, jako jednoho z hlavních faktorů ovlivňujících proces řezání. Pro rozbor otázek spojených s prací nástroje v automatizované výrobě má obrovský význam jeho rozměrová stálost. [1]

Současný velký rozmach výpočetní techniky, zavádění stále vyššího stupně automatizace výrobních procesů vede k neustálému zvyšování požadavků na znalost všech zákonitostí procesu řezání. Výzkum a studium těchto zákonitostí jsou trvale zdokonalovány a prohlubovány. [1]

Do určité míry je ale tento výzkum komplikován značnou složitostí fyzikálních a chemických procesů tvořících podstatu procesu řezání s velkým počtem charakteristik, které průběh procesu ovlivňují. I vývoj technologií obrábění nových materiálů je založen na vědeckých poznatcích získaných experimentálním studiem všech forem úběru materiálu. V dalším vývoji již hraje významnou roli i podstatně vyšší využití výpočetní techniky a matematických metod určování závislosti procesu řezání. [1]

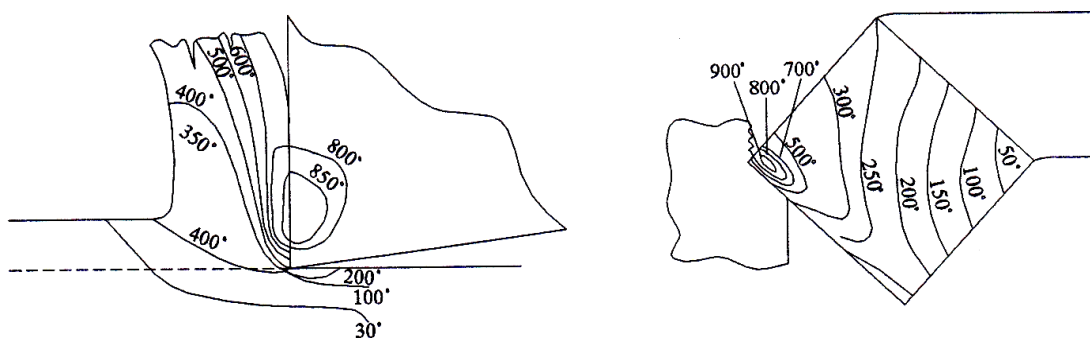
V současnosti lze stanovit tepelné jevy při obrábění různými experimentálními metodami, ať už se jedná o metody nepřímé či přímé. [1]

- **metody nepřímé** – nejčastěji používáme pomocí kalorimetrů pro rozličná měření jako měření celkového množství tepla vznikajícího při obrábění, množství tepla odcházejícího třískou či střední teplotu třísky,
- **metody přímé** – více používaná metoda, kdy využíváme termočlánky, termistory, odporové teploměry, termofilní barvy či vosky pro měření například teploty řezání, teplotního pole nástroje nebo třísky a obrobku.

Výsledky experimentálního studia teplotního pole při obrábění, stejně jako teoreticky odvozené vztahy, vedou k některým obecným závěrům:

- **Teplotní pole při obrábění je nestacionární**
- **Teplota určitého bodu závisí především na těchto faktorech:**
fyzikálních vlastnostech materiálu nástroje a obrobku,

řezných podmínkách,
způsobu práce (vrtání, soustružení, frézování),
řezném prostředí.



Obrázek 3.1 Průběhy teplot v tříšce [1]

Na obrázku 3.1 jsou znázorněny ukázky průběhů teplot v tříšce, nástroji a obrobku, tak jak byly experimentálně stanoveny v různých případech. [1]

Toto znázornění je v souladu s teoretickými předpoklady o tepelných zdrojích, tepelných proudech a gradientech teplot při řezání. [1]

3.1 Závislost teploty řezání na řezných podmínkách

Teplota řezání je závislá na fyzikálních vlastnostech obráběného materiálu, na materiálu nástroje, na řezných podmínkách, na geometrii nástroje a vlastnostech řezného prostředí. Závislost teploty řezání na těchto podmínkách se provádí experimentálními zkouškami. Praktickými měřeními lze zjistit, že největší vliv na výši teploty řezání má řezná rychlost. Matematické vyjádření závislosti teploty řezání na řezné rychlosti je dáno vztahem: [1]

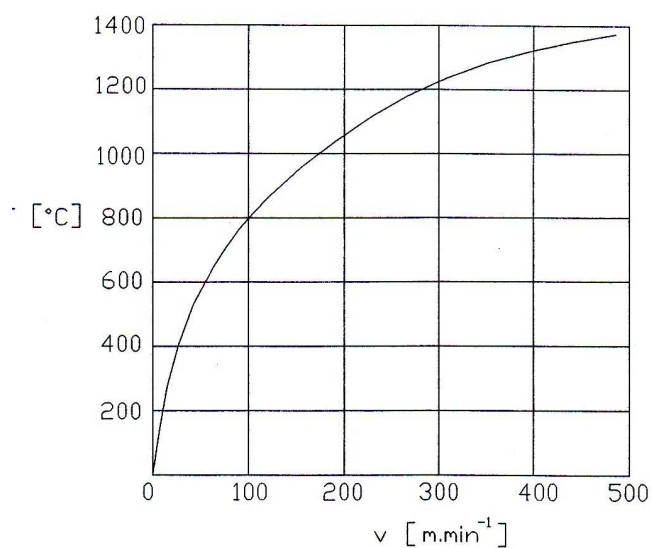
$$T = c_{TS} \cdot v^{z_T} \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Pro řeznou rychlost $v = 15$ až $45 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ je exponent z_T pro ocel $z_T = 0,5$ a pro litinu $z_T = 0,35$.

Pro řeznou rychlost $v = 45$ až $180 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ je exponent z_T pro ocel $z_T = 0,5$ a pro litinu $z_T = 0,35$.

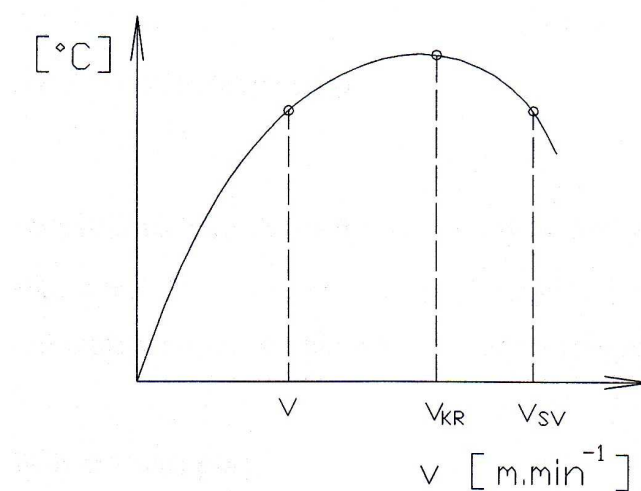
Z grafické závislosti lze zjistit, že s rostoucí řeznou rychlostí roste teplota řezání rychle, až po dosažení určité velikosti se růst teploty zpomaluje a následně asymptoticky

směřuje k teplotě, která se blíží teplotě tavení materiálu obrobku. Tuto závislost vyjadřuje obrázek 3.2 [1]



Obrázek 3. 2 Závislost teploty na rychlosti obrábění [1]

Obrázek 3.3 představuje opět závislost teploty řezání na řezné rychlosti: [1]



Obrázek 3. 3 Závislost teploty na řezné rychlosti [1]

v – představuje běžnou velikost řezné rychlosti,

v_{KR} – představuje kritickou velikost řezné rychlosti,

v_{SV} – představuje super vysokou velikost řezné rychlosti (nad 10 000 m.min⁻¹).

S rostoucí tloušťkou třísky a se teplota řezání rovněž zvyšuje. Matematické vyjádření závislosti teploty řezání na tloušťce třísky je dáno vztahem: [1]

$$T = c_{T6} \cdot a^{y_T} \quad [^{\circ}C]$$

Střední hodnota exponentu y_T

pro ocel $y_T=0,3$;

pro litinu $y_T=0,2$.

S rostoucí šířkou třísky b se teplota řezání zvyšuje méně než v předchozím případě.

Matematické vyjádření závislosti teploty řezání na šířce třísky je dáno vztahem: [1]

$$T = c_{T7} \cdot b^{x_T} \quad [^{\circ}C]$$

Střední hodnota exponentu x_T

pro ocel $x_T=0,05$ až $0,14$;

pro litinu $x_T=0,04$.

S rostoucím poměrem b/a teplota řezání klesá.

S klesajícím úhlem nastavení hlavního ostří κ_r a se zvětšujícím se poloměrem zaoblení špičky r_ε se zvětšuje délka styku třísky s břitem, a proto teplota řezání klesá. [1]

4. Pyrometry

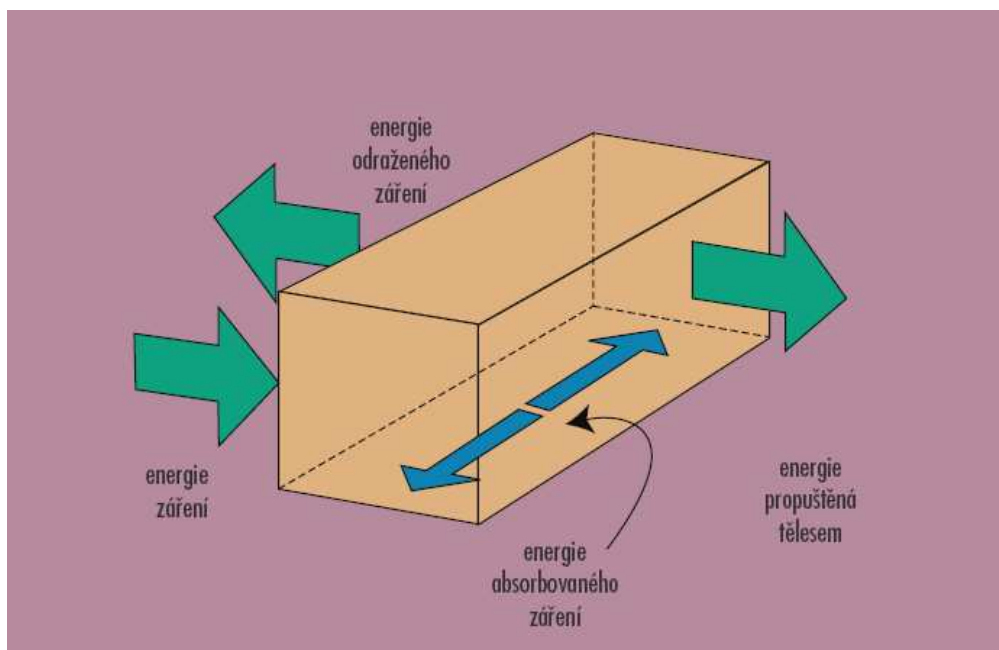
Pyrometry jsou bezdotykové teploměry, které určují teplotu měřeného tělesa z teplotního záření. Využíváme-li pro určení teploty tělesa širokého rozsahu vlnových délek, přístroj se nazývá radiační pyrometr. Využívá-li pyrometr úzkého rozsahu vlnových délek, říkáme mu spektrální pyrometr. Pokud teplotu spektrálního pyrometru určujeme ze záře zářícího tělesa, nazývá se (ne zcela správně) jasový pyrometr. Veličina teplotního záření je „zář“ a odpovídá veličině světelného záření „jas“. Optický pyrometr je druh jasového (i spektrálního) pyrometru, kde čidlem pro zjišťování rozdílu záře je lidské oko. Pyrometry se používají nejčastěji pro měření vysokých teplot nad 600 °C. [2]

4.1 Kdy ukazují pyrometry skutečnou teplotu?

Při kontrole na pracovišti metrologie jsou pyrometry kalibrovány na tzv. černém tělese. Během kalibrace odpovídá údaj většiny kvalitních pyrometrů s požadovanou přesností skutečné teplotě černého tělesa. V praxi však měříme většinou reálná nečerná tělesa. Zatímco na černém tělese budou všechny kvalitní dobře nastavené pyrometry různých typů, značek a vlastností ukazovat skutečnou teplotu černého tělesa, zjistit skutečnou teplotu nečerného tělesa bezdotykovým měřením je velmi obtížný problém. [3]

4.1.1 Koncept absolutně černého tělesa

Jak ukazuje obrázek 4.1, může být záření dopadající na objekt absorbováno, odraženo, nebo může objektem procházet (pokud není průhledný). Pokud má objekt konstantní teplotu, potom musí být výkon emitovaného záření stejný jako výkon záření absorbovaného. V opačném případě se objekt ochlazuje nebo zahřívá. [6]



Obrázek 4.1 Absorpce dopadajícího světla [6]

V roce 1860 definoval Kirchhoff absolutně černé těleso jako povrch, který záření neodráží ani nepropouští, ale pouze veškeré dopadající záření absorbuje, nezávisle na jeho směru a vlnové délce. Absolutně černé těleso nejenom pohlcuje veškeré dopadající záření, ale je také dokonale vyzařujícím tělesem. Vyzařovací schopnost každého tělesa dle [3] nazval Kirchhoff emisivitou povrchu daného tělesa a označil ji ϵ . Emisivita je číselně rovna poměru energií vyzářených reálným povrchem a absolutně černým tělesem. V tabulce 4.1 můžeme porovnat hodnoty emisivity v závislosti na teplotě vybraných materiálů. [6]

Tabulka 4. 1 Emisivity vybraných materiálů [6]

Materiál	Teplota (°C)	Emisivita
Hrubý beton	0 - 1 093	0,94
Neoxidovaný hliník	25	0,02
Leštěný nikl	38	0,05
Porcelán	22	0,92
Sníh	-7	0,82

Každé těleso o teplotě vyšší než 0 K ($-273,15\text{ °C}$ = absolutní nula) vyzařuje energii ve formě elektromagnetického záření na různých vlnových délkách. Část záření, která vzniká tepelným pohybem částic pevných těles, kapalin nebo i plynů a plazmatu se nazývá tepelné záření, přičemž vyzářená energie je úměrná čtvrté mocnině teploty tělesa, což

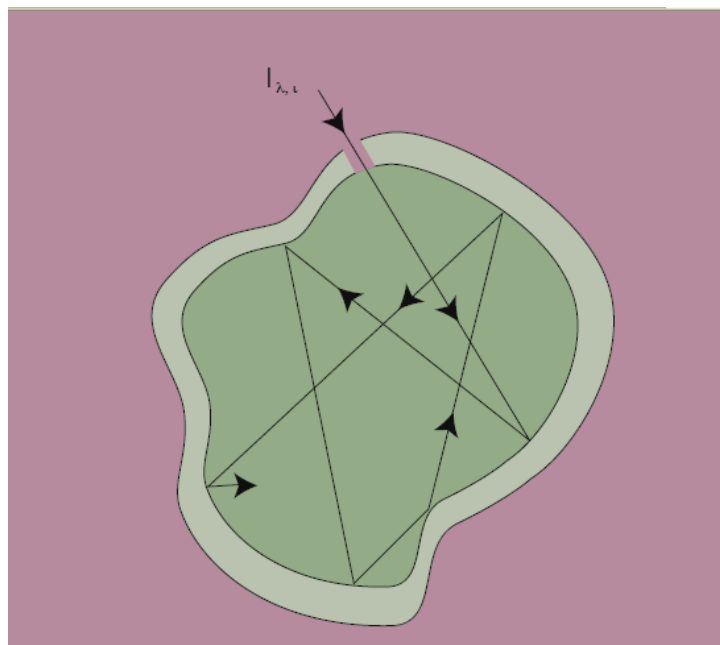
vyjadřuje Stefan-Boltzmanův zákon pro celkovou intenzitu záření vyzařovanou jednotkou plochy do poloprostoru. [3]

$$H_0(T) = \sigma \cdot T^4 \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$$

kde $\sigma = 5,6687 \cdot 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$.

Koncept absolutně černého tělesa je důležitý, protože ukazuje, že energie vyzařovaná absolutně černým tělesem závisí na teplotě. Při použití bezdotykového teploměru měřícího energii vyzařovanou z objektu, je třeba vzít v úvahu emisivitu. Např. objekt s emisivitou 0,6 vyzařuje jen 60 % energie ve srovnání s absolutně černým tělesem. Pokud se nezavede tato korekce, bude načtena hodnota teploty nižší, než je aktuální teplota. [6]

Nejpřesnější aproximací absolutně černého tělesa je dutina s vnitřním povrchem o konstantní teplotě T_s , která komunikuje s okolím skrze malou díрку, jejíž průměr je velmi malý ve srovnání s rozměry dutiny viz obrázek 4.2. Většina záření vstupující dírkou do dutiny je buď ihned absorbována, nebo je povrchem dutiny odražena do dutiny, zatímco z otvoru vychází zanedbatelné množství záření. [6]



Obrázek 4.2 Model černého tělesa [6]

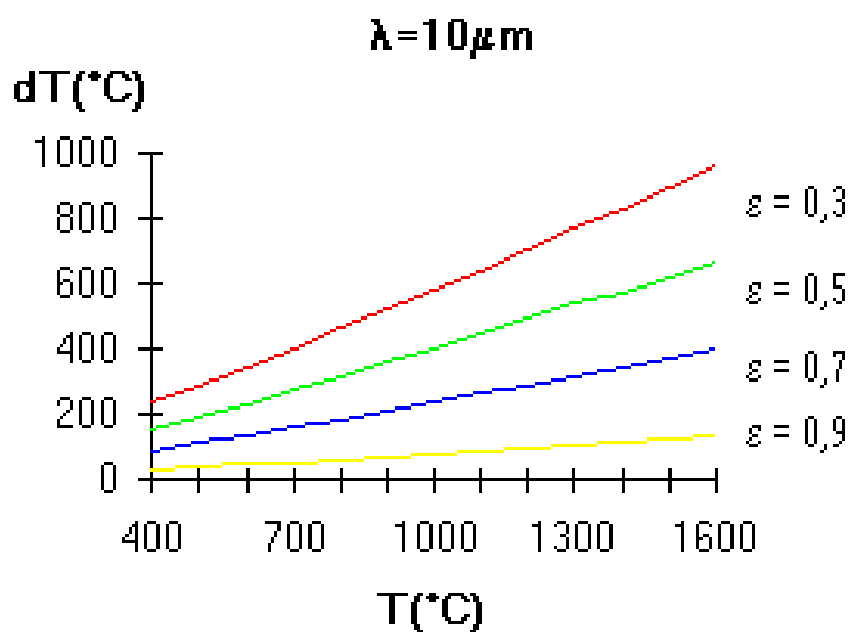
4.1.2 Závislost chyby měření na emisivitě

Abychom tedy mohli zjistit teplotu měřeného reálného objektu, musíme znát emisivitu jeho povrchu, která se mění v závislosti na: [3]

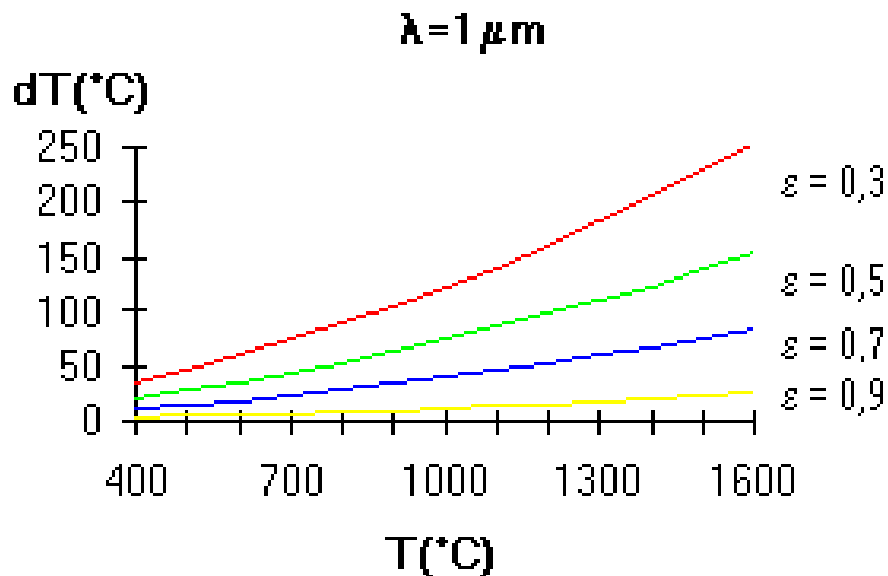
- druhu materiálu,
- stupni oxidace povrchu materiálu,
- opracovanosti a drsnosti povrchu,
- efektivní vlnové délce pyrometru,
- teplotě materiálu.

Pokud emisivitu materiálu nenastavíme nebo ji nastavíme nepřesně, vznikne během měření horkého povrchu chyba, která závisí na velikosti této nepřesnosti, na teplotě materiálu a na spektrálním pásmu, na němž probíhá měření. [6]

Závislost chyby měření pyrometru dT na teplotě T a emisivitě ε pro vlnové délky $\lambda = 1 \mu\text{m}$ (obrázek 4.3) a $\lambda = 10 \mu\text{m}$ (obrázek 4.4) znázorňují dle [3] následující grafy:



Obrázek 4.3 Závislost chyby měření na teplotě [3]

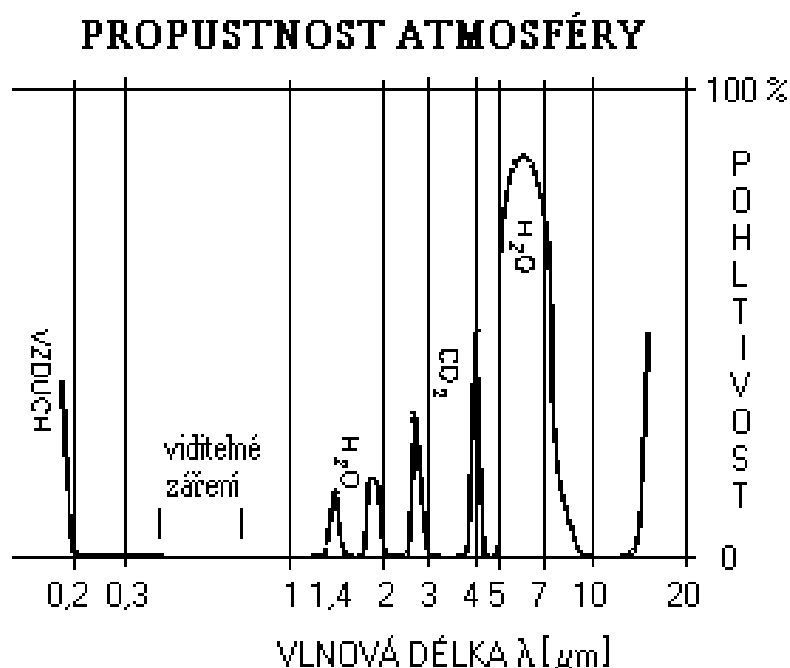


Obrázek 4.4 Závislost chyby měření na teplotě [3]

Z těchto grafů je patrné, že pyrometry pracující na kratších vlnových délkách mají mnohem menší chybu vzhledem k emisivitě. [3]

4.1.3 Vliv atmosféry na měření

Atmosféra mezi měřeným místem a pyrometrem může obtížně definovatelným způsobem ovlivnit měření, pokud obsahuje složky, které mohou významně absorbovat záření vycházející z měřeného povrchu. Těmito složkami mohou být dle obrázku 4.5 různé plyny, voda, vodní pára, prach apod. Vzhledem k tomu, že koncentrace těchto komponent nebývá stálá, nedá se jejich vliv odstranit ani zahrnutím do koeficientu emisivity. [3]



Obrázek 4.5 Ovlivnění měření jednotlivými složkami atmosféry [3]

Naštěstí vliv atmosféry, při nízkých koncentracích příměsí a nečistot, není v celém spektrálním oboru stejný. Spektrální pásmo pyrometru a jeho efektivní vlnová délka λ_{ef} bývá proto volena tak, aby měření bylo co nejméně ovlivňováno okamžitou propustností atmosféry. V opačném případě by údaj teploty indikované pyrometrem byl, i při správném nastavení emisivity povrchu měřeného materiálu, nižší než hodnota skutečné teploty povrchu a silně by kolísal v závislosti na okamžité koncentraci CO_2 , par H_2O a jiných složek atmosféry v pracovním prostoru. [3]

4.1.4 Vliv úhlu zaměření pyrometru

Při měření emisivity povrchu horkého materiálu není vždy možné zaměřit pyrometr kolmo k měřenému povrchu. Zaměření pyrometru pod určitým úhlem k normále je možné, ale musí se počítat s tím, že se změní velikost a symetrie zorného pole pyrometru a rovněž efektivní emisivita povrchu materiálu. [3]

S úhlem zaměření se mění také efektivní emisivita povrchu materiálu. Pro kovové materiály je tento průběh efektivní emisivity typický. Nedoporučuje se proto zaměřovat pyrometry pod úhlem větším než 40° od normály k povrchu měřeného materiálu. [3]

4.2 Výhody a nevýhody bezdotykového měření teploty

Výhody používání bezdotykových teploměrů:

- Je rychlé (v milisekundovém rozsahu).
- Umožňuje měření teploty pohybujících se objektů (rotujících součástí, výrobků na dopravnících apod.).
- Bezpečné měření na nebezpečných nebo nesnadno dostupných objektech (součásti pod elektrickým napětím, pohyblivé součásti, vzdálené objekty).
- Lze bez problémů měřit i velmi vysoké teploty (nad 1300 °C).
- Není zde žádné ovlivnění měřeného objektu - není z něho při měření odebírána žádná energie.
- Není zde riziko kontaminace a nejsou zde žádné mechanické účinky na povrch měřeného objektu. Nedojde tedy k např. k poškrábání lakovaných povrchů a je možno měřit i měkké povrchy. Měření v potravinářství je naprosto hygienické. [4]

Nevýhody:

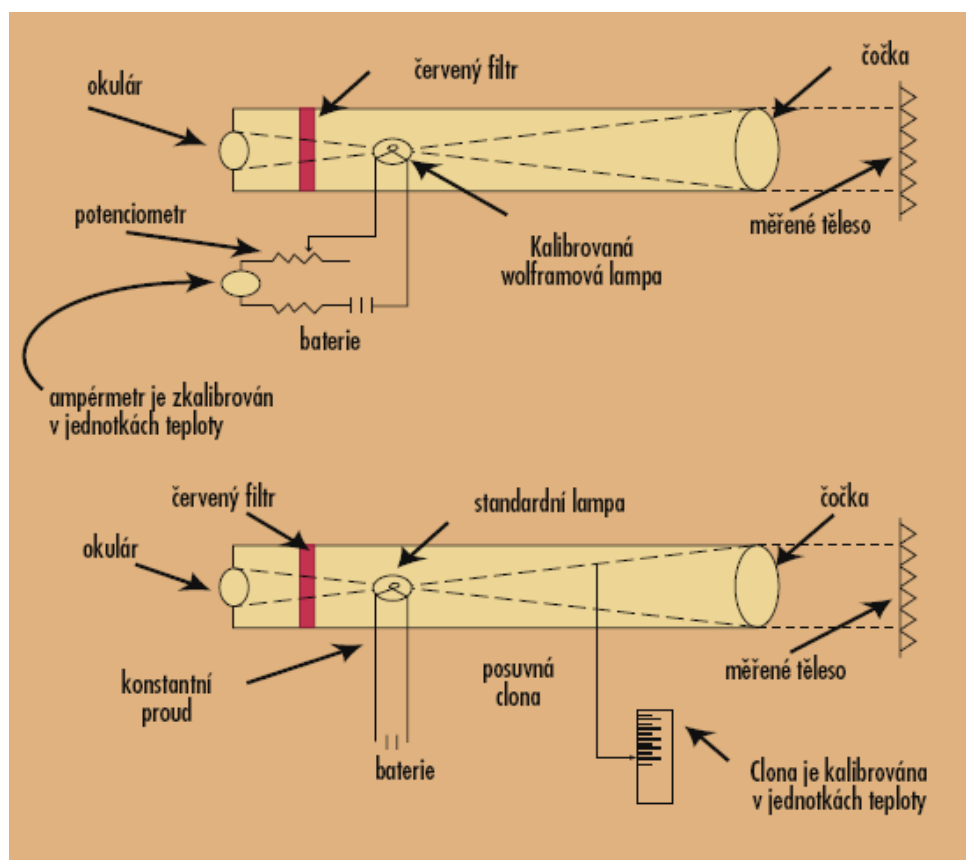
- Měřený objekt musí být pro infračervený teploměr opticky (infračerveně) viditelný. Vysoké úrovně kouře nebo prachu snižují přesnost měření.
- Pevné překážky, jako jsou uzavřené kovové reakční nádoby, dovolují pouze povrchová měření - vnitřní teplota v nádobě nemůže být takto měřena.
- Optika čidla musí být chráněna před prachem a kondenzujícími kapalinami.
- Je možno měřit pouze povrchovou teplotu, přičemž je nutno brát v úvahu různou emisivitu jednotlivých materiálů. [4]

4.3 Optické pyrometry

Optické pyrometry měří radiaci v úzkém pásmu vlnových délek tepelného záření. Nejstarší přístroje používaly principu měření optického jasu na viditelných vlnových délkách kolem 0,65 μm (červená). Tyto přístroje se také nazývají jednobarevné pyrometry. Optické pyrometry jsou nyní dostupné pro měření energie na vlnových délkách přesahujících až do oblasti infračervené. [6]

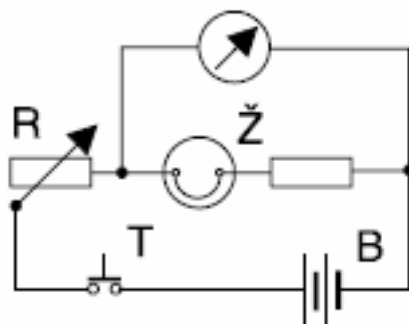
Některé optické přístroje se ovládají ručně, jak je ukázáno na obrázku 4.6. Uživatel nasměruje pyrometr na měřený objekt. Ve stejný okamžik vidí vnitřní žhavé vlákno přístroje v okuláru přístroje. Uživatel mění velikost příkonu, který žhaví vlákno, a tím mění

barvu vlákna, až odpovídá barvě měřeného objektu. Teplota se odvozuje od množství energie, které je absorbováno clonou, což je funkcí jejího nastavení. [6]

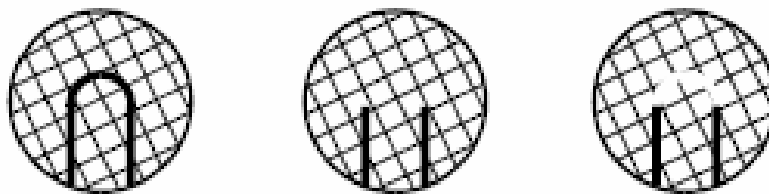


Obrázek 4.6 Schéma principu optických přístrojů [6]

Elektrická část (obrázek 4.7) se skládá z pyrometrické žárovky Ž žhavené proudem baterie přes otočný reostat R a tlačítko T. Paralelně k žárovce je připojen magnetoelektrický měřicí přístroj s teplotní stupnicí. Účelem manipulace s přístrojem je nastavit odpor R tak, aby se konec smyčky vlákna žárovky svou září ztrácel v záři měřeného tělesa (obrázek 4.7). Vlevo má vlákno žárovky nižší teplotu, vpravo vyšší a uprostřed správnou teplotu. [2]



Obrázek 4.7 Elektrická část optického pyrometru [2]



Obrázek 4.8 Teploty vlákna žárovky při měření

4.4 Radiační pyrometry

Thermopile sensors, v češtině obecně označované jako radiační pyrometry nebo též infratermočlánky, jsou senzory pro bezdotykové měření povrchové teploty předmětů a objektů. Jak napovídá vcelku výstižný název infratermočlánky, jde o zahřívání termočlánků infračerveným zářením, které vysílá každý objekt o určité teplotě. Nelze je však zaměňovat s pyroelektrickými senzory, které pracují na podobném principu, ale využívají pyroelektrikum místo termočlánků. [4]

Použití radiačních pyrometrů

- Detekce ohně a plamenů.
- Analýza plynů v průmyslu a Lékařské aplikace.
- Detekce výbuchu.
- Bezdotykové měření teploty.
- Moduly teplotních senzorů v mikrovlnných troubách, sporácích, klimatizacích apod.
- Měření teploty pohyblivých předmětů.

Stručně princip thermopile senzoru

Thermopile senzory přímo reagují na tepelné vyzařování části objektu ve směru, na který jsou namířeny. Dnes se již vyrábějí integrované na bázi křemíku poskytující dlouhou stabilitu, velmi nízký teplotní koeficient v citlivosti a opakovatelnosti měření. Thermopile senzory, infratermočlánky, umožňují vzdálené měření teploty i v levných systémech. Senzor nepotřebuje chlazení, dosahuje běžně rozlišení 1°C v širokém měřicím rozsahu a až 0.1°C v rozsahu úzkém. [4]

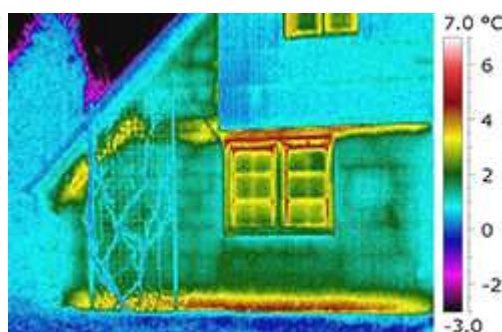
4.5 Termografie

Termografie je bezkontaktní měření povrchových teplot na povrchu předmětů nebo konstrukcí. Někdy se rovněž používá termín termovize (ThermoVision®), což je registrovaná ochranná značka společnosti FLIR – výrobce termovizní kamery. Termovize má široké spektrum použití. Nejčastěji se termovize používá ve stavebnictví a v průmyslu. Mezi další využití termovize patří například oblast lékařství. [13]

Výsledkem termovizního měření je termogram, tedy digitální obraz teplotního pole, kde je různým teplotám přiřazena určitá barva. Pro budovy se obvykle používá barevná paleta "rain" (duha) nebo "iron" (oheň), kde světlejším barvám jsou přiřazeny vyšší povrchové teploty a tmavším barvám nižší povrchové teploty, jak je ukázáno na obrázku 4.9 a 4.10. [13]



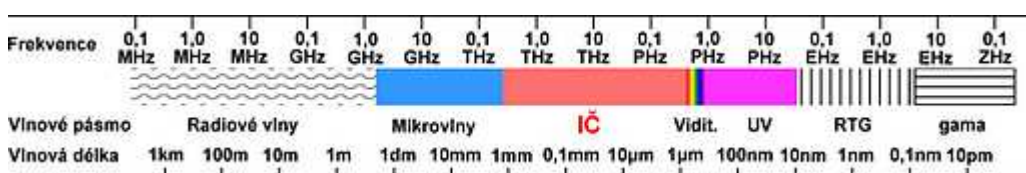
Obrázek 4.9 Barevná paleta „iron“ [13]



Obrázek 4.10 Barevná paleta „rain“ [13]

Podstata termografie

Termovize využívá měření částí elektromagnetického spektra, které je na základě úmluvy rozděleno na několik vlnových pásem, znázorňující obrázek 5.11. Jedná se o radiové vlny, mikrovlny, infračervené záření, viditelnou část spektra, UV záření, rentgenové záření a gama záření. Termovize využívá měření infračervené části (IČ) spektra. IČ spektrum je dále rozděleno na čtyři menší pásma. Jsou to pásma blízké IČ (0.75 - 3 μm), střední IČ (3 - 6 μm), vzdálené IČ (6 - 15 μm) a velmi vzdálené (15 - 100 μm). Různé měřicí systémy měří v různých spektrech a rozlišují se tak např. dlouhovlnné systémy, krátkovlnné systémy apod. [13]



Obrázek 4.11 Spektrum vlnových délek [13]

Termovize ve stavebnictví

Termografie ve stavebnictví umožňuje rychlý a bezkontaktní průzkum rozložení teplot na povrchu stavebních konstrukcí a používá se pro určení míst v obvodovém plášti, kterými dochází ke zvýšeným tepelným ztrátám, jak vlivem tepelných mostů, tak v důsledku nesprávného provedení spár a styků. [14]

Vedle kontroly úniků tepla obálkou budov lze pomocí termokamery vyhledávat např.:

- místa s rizikem tvorby alergenních plísní (termokamera a vlhkostní sonda),
- tepelně izolačních vlastností rozvodů tepla,
- úniky teplotnosného media podlahového vytápění.

Na termovizním snímku jsou teplotám přiřazeny barvy dle teplotní škály vpravo od snímku. Každý snímek obsahuje celé barevné spektrum, kdy nejchladnějšímu místu na snímku je přiřazena černá barva a nejteplejšímu místu barva bílá. [14]

Na snímcích pořízených z vnějšku objektu zjišťujeme tepelné úniky v místech dle teplotní škály směrem k vyšším teplotám a naopak u snímků pořízených zevnitř objektu hledáme chladná místa reprezentovaná barvami přiřazenými nízkým teplotám. [14]

Ukázka termovizního snímku je zachycena na obrázku 4.12.



Obrázek 4.12 Termovizní snímek budovy [14]

Termovize v průmyslu

V průmyslu je kladen velký důraz na maximální spolehlivost a bezporuchovost strojů a zařízení, kdy stále častěji jsou používány nové metody preventivní údržby ke zjišťování stavu výrobní technologie. Své místo v provádění preventivní údržby našla i termovize.

Měření pomocí termovize umožňuje získat viditelnou informaci o rozložení teplot na povrchu snímaného zařízení. Měření se provádí za provozu, bez nutnosti odstavení připojených technologií a bez jakéhokoliv vlivu na měřený objekt. Pomocí termovizní techniky lze provádět například kontrolu (diagnostiku) :

- elektrických zařízení (stav a kvalita spojů a svorek, zatížení transformátorů, izolátorů a odpojovačů),
- výrobních technologií (např. stav vyzdívek a izolací pecí),
- může sloužit také jako pomocník pro analýzu příčin závad výrobků (např. výroba plastových dílů).

4.6 Obecná kritéria pro výběr a používání pyrometrů

Před zakoupením pyrometru je zapotřebí uvážit nejen požadovaný měřicí rozsah teplot a typ pyrometru, ale také další kritéria určující jeho použitelnost pro danou aplikaci dle [3]:

- Pyrometr musí být spolehlivý i za nepříznivých okolních podmínek. Vhodné je volit pyrometr jednoduché a přitom odolné konstrukce.
- Důležité je správně zvolit spektrální pásmo pyrometru tak, aby měření nebylo ovlivněno prostředím.
- Teplotu různých částí pyrometru je nutno udržovat v rozmezí daném výrobcem.
- Při měření je potřeba vyloučit vliv záření slunce a cizích těles, pokud by mohly ovlivnit měření, popřípadě ho kompenzovat vhodným pyrometrem a způsobem měření.
- Vzdálenost mezi měřeným objektem a pyrometrem by neměla být větší než 5 m.
- Úhel zaměření pyrometru by neměl být větší než 40 - 45 stupňů od normály k povrchu měřeného materiálu.
- Pro zajištění správného měření teploty po dlouhou dobu je velmi důležité pravidelné čištění optiky pyrometru a dodržování údržby pyrometru, která je předepsaná výrobcem.
- V případě pochybnosti o použití daného typu pyrometru v daných podmínkách je vhodné přizvat k expertíze pracovníka, který se problematikou bezkontaktního měření teploty aktivně zabývá.
- Před koupí pyrometru je vhodné konzultovat nákup s odborníkem z oblasti bezdotykového měření teplot nebo nejbližším pracovištěm metrologie teplot.

5. Vlastní měření

V této kapitole se budeme zabývat jak vlastními přístroji použitými při měření, nožovým držákem, keramickými destičkami, tak přípravou polotovarů, samotným měřením a následným vyhodnocením dosažených výsledků.

5.1 Přístroje

Infrapyrometr MAURER - KTR 1085-1

Parametry:

Tabulka 5. 1 Parametry infrapyrometru Maurer [9]

rozměry	54x54x147 mm
váha	0,7 kg
teplotní rozmezí	550 - 1800 °C
přesnost	1 % ± 1 °C
spektrální rozmezí	0,85 - 1,1 μm
reprodukovatelnost	3 ‰
korekce emisivity	0,1 - 1,0



Obrázek 5.1 Maurer KTR-1085-1[9]

Termokamera FLIR E45

Termokamery řady E jsou jedny z dnešních nejmenších termokamer a jsou navrženy pro jednoduché osobní používání. Jsou napájeny Li-Ion baterií, což jim zajišťuje až 2 hodinový provoz. [10]

Parametry:

Tabulka 5.2 Parametry termokamery Flir [10]

rozměry	265x80x105
váha	700 g
formát souboru	JPEG
spektrální rozmezí	7,5 - 13 μm
typ	zabudovaná flash paměť
korekce emisivity	0,1 - 1,0
obrazovka	2.5", barevný LCD displej



Obrázek 5.2 Termokamera FLIR E45 [10]

Soustruh

Pro samotné soustružení byl použit soustruh z obrázku 5.3 nacházející se ve školní dílně. Na tomto soustruhu se nevyskytuje žádné označení přibližující rok jeho výroby, název, popřípadě parametry. Jediná poznámka je země výroby Bulharsko. Důvodem neexistující dokumentace k tomuto stroji je nejspíše darování soustruhu škole, po jeho vyřazení z provozu.



Obrázek 5.3 Soustruh

Nastavení stroje proběhlo dle doporučení výrobce břitových destiček. Výsledná řezná rychlost byla spočtena dle rovnice:

$$v_T = v_{Tab} \cdot k_{vX} \cdot k_{vT} \cdot k_{vHB} \cdot k_{vM}$$

$$v_T = 579 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,85 \cdot 0,7$$

$$v_T = 258 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$$

v_T - výsledná řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],

v_{Tab} - tabulková hodnota řezné rychlosti [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],

k_{vX} - korekční součinitel stavu stroje,

k_{vT} - korekce na trvanlivost,

k_{vHB} - korekce na tvrdost obrobku,

k_{vM} - korekce na materiál.

Posuv byl stanoven na $f = 0,1 \text{ mm}$, hloubka řezu $a_p = 1 \text{ mm}$.

Otáčky stroje byly vypočteny dle rovnice:

$$n = \frac{v_T \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

$$n = \frac{258 \cdot 1000}{\pi \cdot 82,5} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

n - otáčky stroje [min^{-1}],

v_T - výsledná řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$],

π - Ludolfovo číslo,

D - průměr obráběné plochy [mm].

5.2 Nástroj

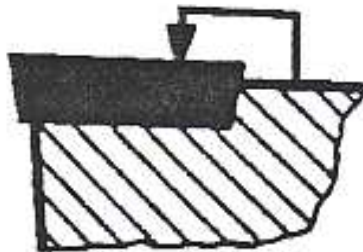
Nožový držák

Byl použit nožový držák (viz obrázek 5.4) s označením CSNR 2525 M12. Blíže si určíme, co jednotlivé parametry označují:



Obrázek 5.4 Nožový držák [11]

C – nejstarší způsob upínání je znázorněn na obrázku 5.5. Destička bez otvoru je do lůžka zatlačována z čelní strany plochy pomocí upínky. [5]



Obrázek 5.5 Upínání dle ISO označení C [5]

S – tvar destičky čtvercový,

R – úhel nastavení 75° ,

N – úhel hřbetu $\alpha_n = 0^\circ$,

R – nůž pravý,
h – výška držáku 25 mm,
b – šířka držáku 25 mm,
l₁ – celková délka 150 mm,
12 – velikost destičky.

Břitové destičky

Jelikož bylo srovnání prováděno pro firmu Saint Gobain, i vyměnitelné břitové destičky s označením D210 a D420 pocházely z této firmy. Obě jsou založeny na keramické bázi, ovšem jiného složení.

DISAL 210

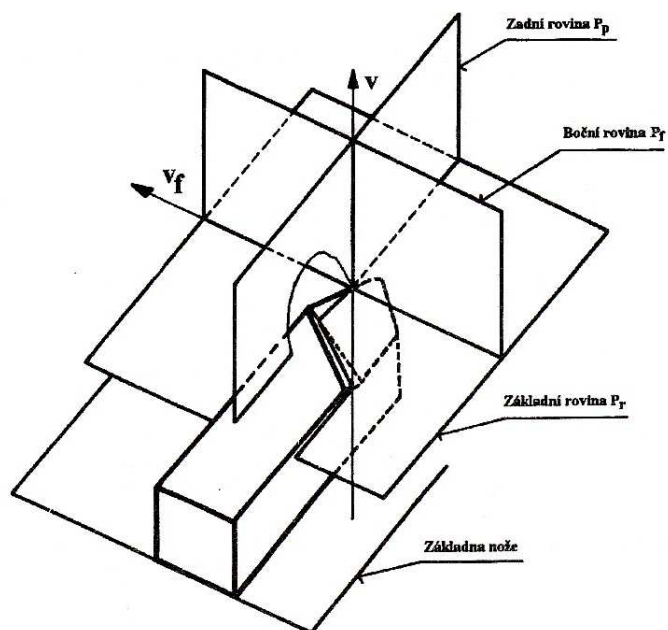
Směsná oxidová keramika (na bázi Al_2O_3 , ZrO_2 a CoO) - vyniká kromě tvrdosti a odolnosti proti opotřebení za vysokých teplot i zvýšenou houževnatostí. Je vhodná pro obrábění šedé, sférické i temperované litiny, konstrukčních, zušlechtěných i rychlořezných ocelí lehkým přerušovaným řezem. [8]

DISAL 420

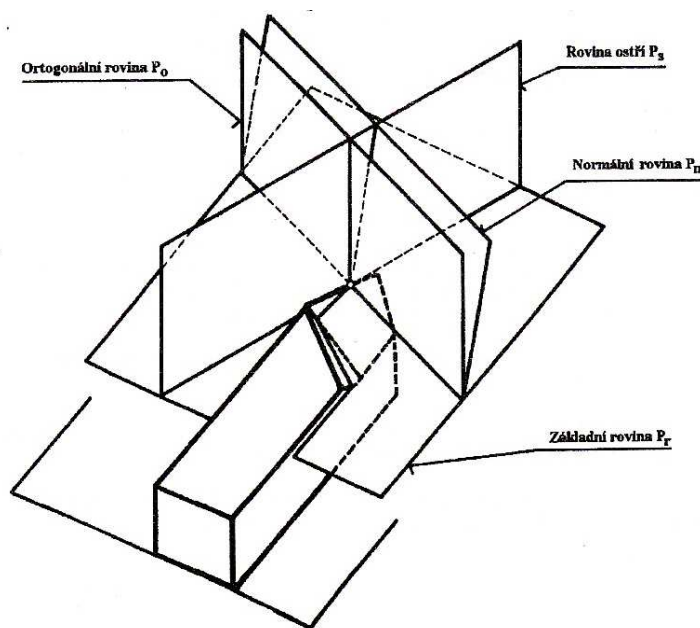
Nitridová keramika (na bázi Si_3N_4) - vyniká velmi vysokou houževnatostí při zachování vysoké tvrdosti a umožňuje obrábění běžným přerušovaným řezem i použití chladicí kapaliny. Tento druh keramiky je zvláště vhodný pro obrábění všech druhů litin, včetně litiny s kůrou. Je také nejvhodnější pro frézování (hrubování) k dosažení maximálních řezných výkonů. [8]

Nástrojová souřadnicová soustava

Jedná se o statickou soustavu (obrázek 5.6 a 5.7), která vychází z předpokládaného směru hlavního řezného pohybu a z předpokládaného směru posuvu. Úhly řezné geometrie se poté určují pomocí rovin v příslušných souřadnicových soustavách [5]. V tabulce 5.3 jsou zaznamenány jak definice nástrojových úhlů, tak naměřené vlastní hodnoty těchto úhlů.



Obrázek 5.6 Roviny nástrojové souřadnicové soustavy [5]



Obrázek 5.7 Roviny nástrojové souřadnicové soustavy [5]

Tabulka 5.3 Hodnoty nástrojových úhlů [5]

		Určení		Hodnoty
		úhel mezi rovinami	v rovině	
Úhel nastavení	κ_r	$P_s - P_f$	P_r	75°
Úhel nastavení vedlejšího ostří	κ'_r	$P'_s - P_f$	P_r	15°
Doplňkový úhel nastavení	ψ_r	$P_s - P_p$	P_r	15°
Úhel špičky	ε_r	$P_s - P'_s$	P_r	90°

Abychom se při samotném obrábění dostali nad rádius špičky, jenž byl 1,5 mm, musel být nožový držák vytočen o úhel 17° , tak bylo zajištěno řezání místo zatlačování materiálu. Tímto zákrokem došlo ke změně velikosti úhlů nastavení na hodnoty dle tabulky 5.4:

Tabulka 5.4 Hodnoty pracovních úhlů

		Hodnoty
Úhel nastavení	κ_r	58°
Úhel nastavení vedlejšího ostří	κ'_r	32°
Doplňkový úhel nastavení	ψ_r	32°
Úhel špičky	ε_r	90°
Poloměr špičky	r	1,5 mm

5.3 Obrobek

Obráběným materiálem byly litinové trubky (obrázek 5.8) označeny dle ČSN 42 2425 s vnějším průměrem $D = 82,5$ mm, světlostí $d = 70,5$ mm a maximální použitelnou délkou k soustružení $l = 100$ mm. Strukturně je tato litina tvořena perlitem (s malým množstvím feritu) s lupínkovým grafitem. Podrobný materiálový list se nachází v příloze pod označením příloha 1.



Obrázek 5.8 Litinový polotovár

Základní mechanické vlastnosti:

Tabulka 5.5 Mechanické vlastnosti

Mez pevnosti R_m min	250 MPa
Mez pevnosti v ohybu R_m	430 MPa
Tvrdost HB max	240
Modul pružnosti E	125,9 GPa

Chemické složení:

Tabulka 5.6 Chemické složení

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Ti[%]	Cu [%]
2,8 ÷ 3,3	1,8 ÷ 2,5	0,6 ÷ 0,8	0,5 ÷ 0,8	< 0,1	0,03 ÷ 0,10	≤ 0,8

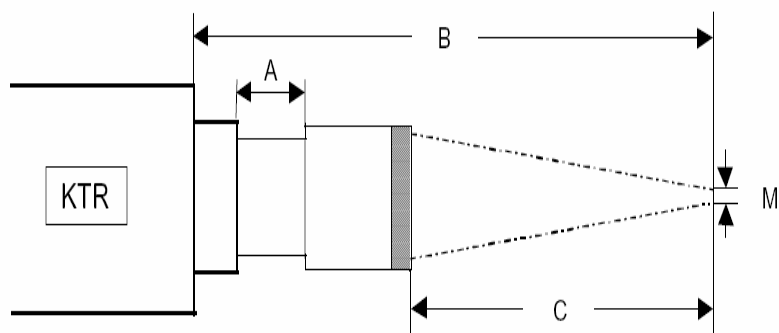
5.4 Pracovní postup

Před samotným měřením bylo potřeba uvést pyrometr do provozu a následně jej zkalibrovat. Kalibrace proběhla nahřátím téhož vzorku s odpovídajícím obrobením povrchu a odrazivostí, jako polotovár použitý při samotném soustružení, v peci při teplotě cca 600 °C. Poté následovalo ustavení pyrometru na soustruh (obrázek 5.9) do polohy, která zabraňovala jeho kontaktu s odlétávajícími třískami, které by jej mohly poškodit. Nepřesnosti v měření teploty mohly být zapříčiněny odlétávajícími třískami, které zasahovaly do paprsku pyrometru, popřípadě neúplně přesné nasměrování paprsku na špičku nástroje.



Obrázek 5.9 Ustavení infrapyrometru

Dále musela být zajištěna správná ohnisková vzdálenost C, viz obrázek 5.10 (přibližně 250 mm), při kterém svazek laseru vycházející z pyrometru dosahoval nejmenšího průřezu M. Paprsek směřoval na špičku ustaveného nožového držáku s připevněnou keramickou destičkou.



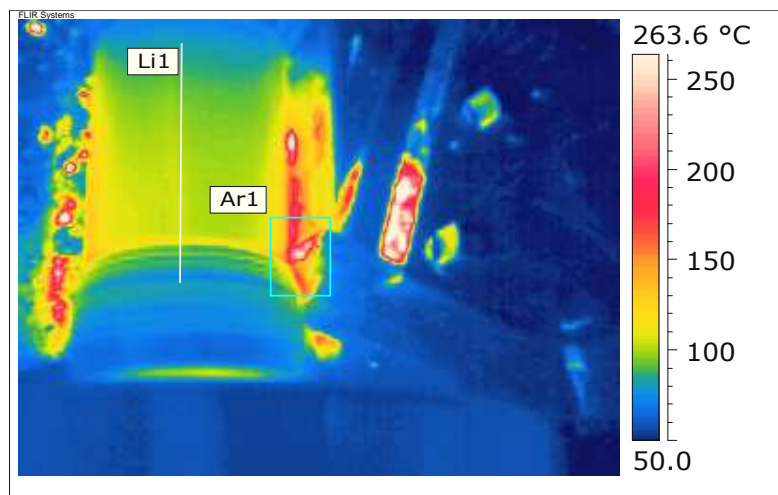
Obrázek 5.10 Schéma nastavení infrapyrometru [9]

U litinových polotovarů bylo zapotřebí podélným soustružením sjednotit průměr na $\varnothing = 82,5 \text{ mm}$ a délku $l = 100 \text{ mm}$. Jelikož bylo k dispozici málo polotovarů, maximálního využití materiálu bylo dosaženo odebráním třísky o hloubce $a_p = 1 \text{ mm}$. Dále byly na soustruhu nastaveny konstantní řezné parametry pro celý průběh měření:

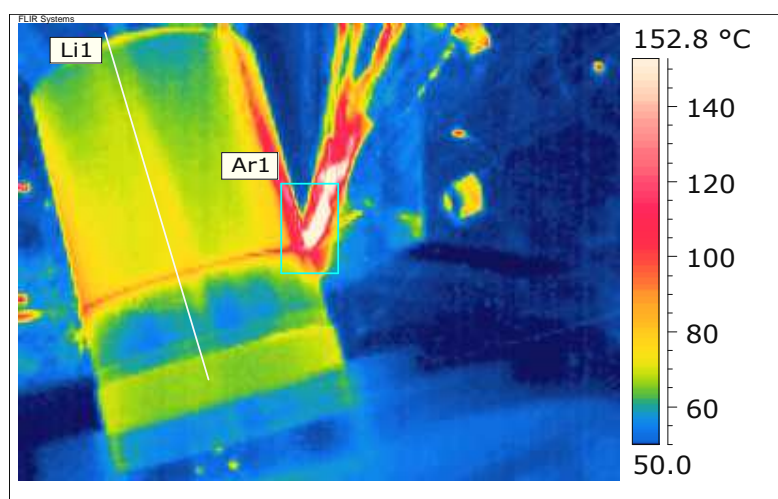
Tabulka 5.7 Parametry nastavení stroje

Řezná rychlost v_c	$258 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$
Otáčky n	$1\,000 \text{ min}^{-1}$
Posuv f	$0,1 \text{ mm}$
Hloubka řezu a_p	1 mm
Řezná délka l	100 mm

Z každého polotovaru byly odebrány čtyři třísky, přičemž se sledovalo kolísání hodnot na pyrometru a současně se pořizovaly snímky termokamerou. Emisivita byla dle počáteční kalibrace v peci nastavena na $\varepsilon = 0,37$, což přibližně odpovídá danému materiálu. Fotografie pořízené termokamerou lze vidět na obrázcích 5.11 a 5.12. Zbývající fotografie jsou připojeny na příloženém disku.



Obrázek 5.11 Fotografie pořízená termokamerou



Obrázek 5.12 Fotografie pořízená termokamerou

Po každé odebrané třísce byl přeměřen průměr, zaznamenány hodnoty pyrometru, termokamery a pod mikroskopem zkontrolováno opotřebení destičky. Hodnoty opotřebení byly převzaty z jiné bakalářské práce, která je zaměřena na opotřebení břitových destiček.

Jelikož použitý infrapyrometr zaznamenává teplotu až od 550 °C, byly jeho hodnoty použitelné po srovnání s termokamerou až při závěrečných měřeních s destičkou D420. U destičky D210 těchto hodnot nebylo vůbec dosaženo. Pro každý typ destičky proběhlo z výše uvedených důvodů jen šestnáct měření.

5.5 Vyhodnocení měření

Všechny naměřené hodnoty v průběhu měření byly shrnuty do tabulky 5.8 a 5.9. Pro přehlednost výsledků byly vytvořeny grafy porovnávající závislost maximální dosažené teploty při soustružení na době měření a opotřebení dané destičky.

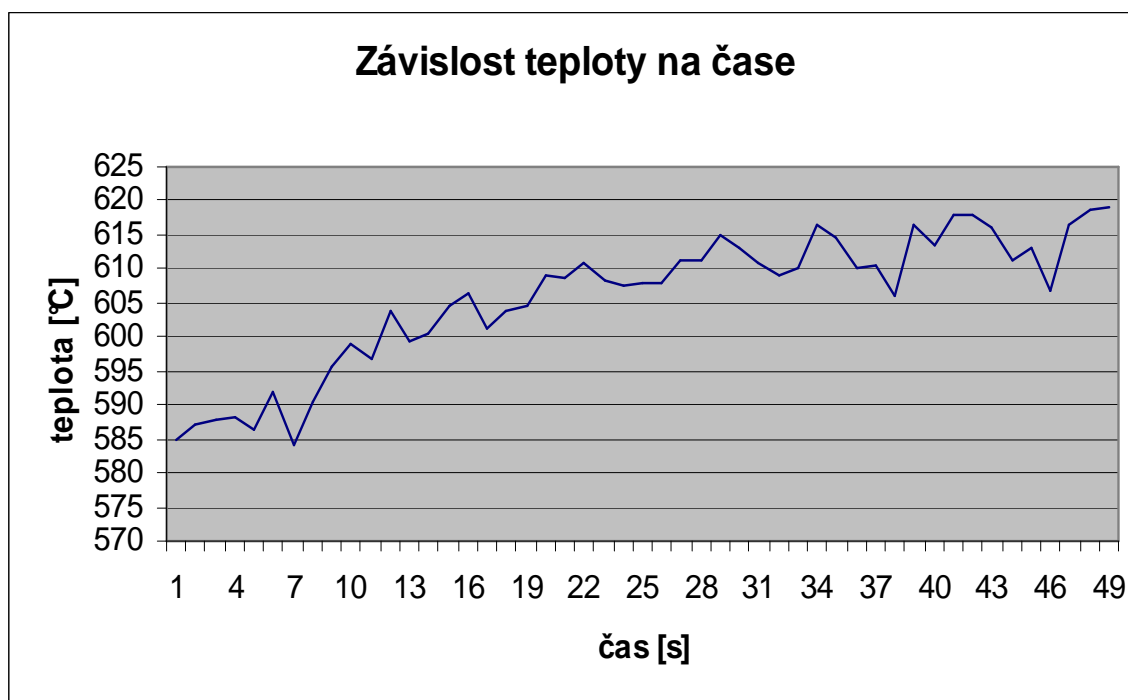
Tabulka 5.8 Výsledky měření pro destičku D210

destička	měření	řezná délka l [mm]	øD [mm]	hloubka řezu ap [mm]	strojní čas ts [min]	opotřebení [mm]		max. dosažená teplota [°C]
						hlavní hřbet [VB _h]	vedlejší hřbet [VB _v]	
D210	1	100	82,5	1	1	0,1	0,1	217,4
	2		80,5	1		0,2	0,2	218,5
	3		78,5	1		0,21	0,21	228
	4		76,5	1		0,22	0,23	240,3
	5	100	82,5	1	1	0,23	0,24	245,9
	6		80,5	1		0,24	0,25	251,6
	7		78,5	1		0,24	0,27	253,9
	8		76,5	1		0,25	0,28	258,2
	9	100	82,5	1	1	0,25	0,29	265,7
	10		80,5	1		0,26	0,3	273,3
	11		78,5	1		0,27	0,32	287,9
	12		76,5	1		0,28	0,33	291,4
	13	100	82,5	1	1	0,29	0,34	305,8
	14		80,5	1		0,3	0,35	316,9
	15		78,5	1		0,33	0,37	324,1
	16		76,5	1		0,35	0,4	338,3

Tabulka 5.9 Výsledky měření pro destičku D420

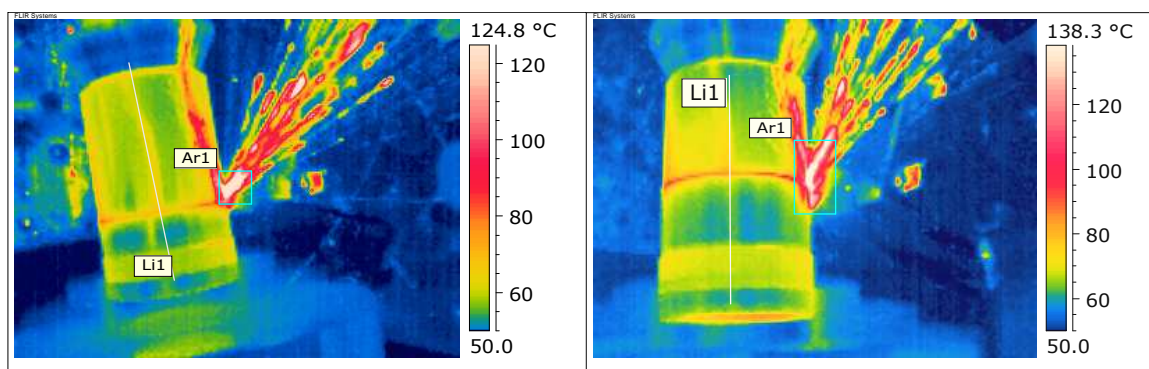
destička	měření	řezná délka l [mm]	øD [mm]	hloubka řezu ap [mm]	strojní čas ts [min]	opotřebení [mm]		max. dosažená teplota [°C]
						hlavní hřbet [VB _h]	vedlejší hřbet [VB _v]	
D420	1	100	82,5	1	1	0,1	0,1	225,3
	2		80,5	1		0,2	0,25	238
	3		78,5	1		0,23	0,27	266,1
	4		76,5	1		0,25	0,3	287,5
	5	100	82,5	1	1	0,27	0,33	320,2
	6		80,5	1		0,3	0,35	346,7
	7		78,5	1		0,33	0,37	347,3
	8		76,5	1		0,35	0,4	352,9
	9	100	82,5	1	1	0,37	0,42	355,9
	10		80,5	1		0,4	0,43	362,3
	11		78,5	1		0,5	0,44	364,1
	12		76,5	1		0,7	0,45	390,9
	13	100	82,5	1	1	0,8	0,48	442,1
	14		80,5	1		0,9	0,5	523,7
	15		78,5	1		1,1	0,6	694,4
	16		76,5	1		1,3	0,8	802,2

Jelikož námi použitý infrapyrometr zaznamenával hodnoty až nad 550 °C, nebylo možno celý průběh měření porovnávat s výsledky termokamery. Až při závěrečných měřeních s destičkou D420 se teploty dostaly nad výše zmiňovanou hodnotu. Pro představu kolísání teploty při soustružení byly hodnoty zaznamenané z infrapyrometru při posledním pokusu s destičkou D420 vyneseny do grafu 5.1.

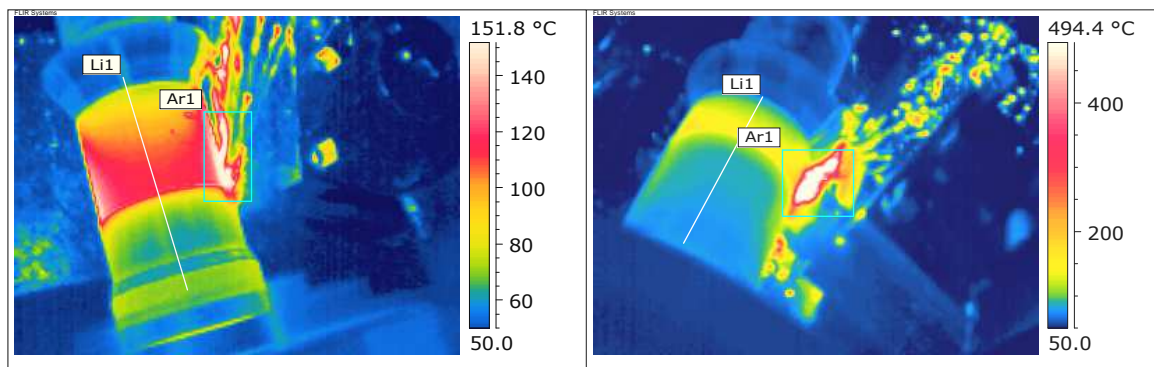


Graf 5.1 Hodnoty odečtené z infrapyrometru při závěrečném pokusu s destičkou D420

Porovnáním obou destiček na obrázku 5.13 v úvodu soustružení a na obrázku 5.14 v závěru použití lze vidět barevné rozdíly, které jasně ukazují relativně stejné teplotní rozpětí při neopotřebovaných destičkách a nárůst teploty s opotřebovanou destičkou D420.

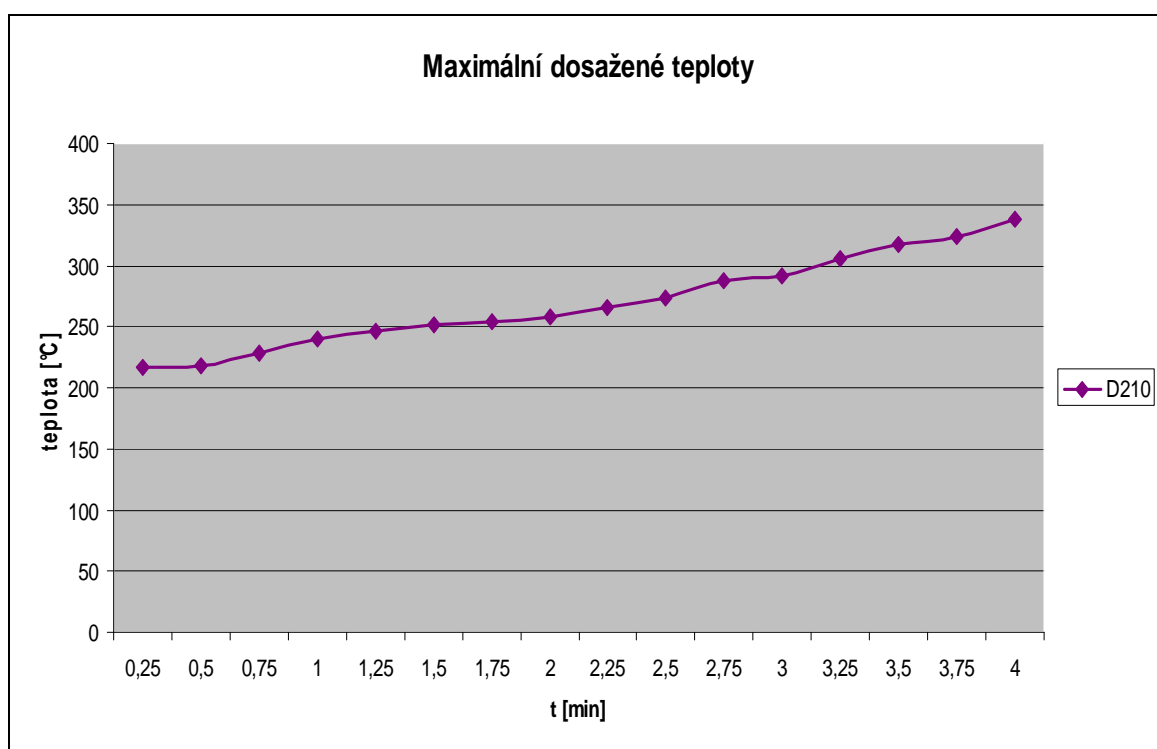


Obrázek 5.13 Barevné schéma destičky D210 (vlevo) a D420 (vpravo) v úvodu soustružení



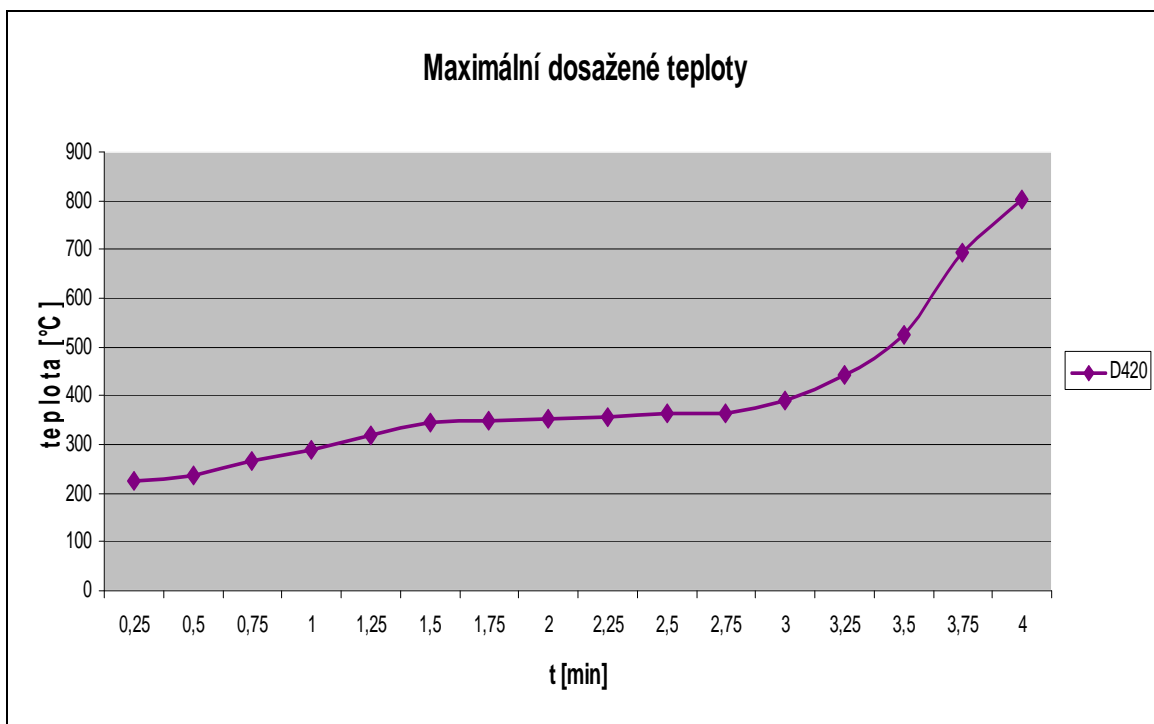
Obrázek 5.14 Barevné schéma destičky D210 (vlevo) a D420 (vpravo) v závěru soustružení

Grafy 5.2 a 5.3 zhodnocují vlastní růst teploty během měření při použití destiček D210 a D420. Srovnání těchto závislostí v grafu 5.4 nám ukazuje, že při použití destičky D210 jsou dosažené maximální teploty výrazně nižší, což je hodnoceno pozitivně.



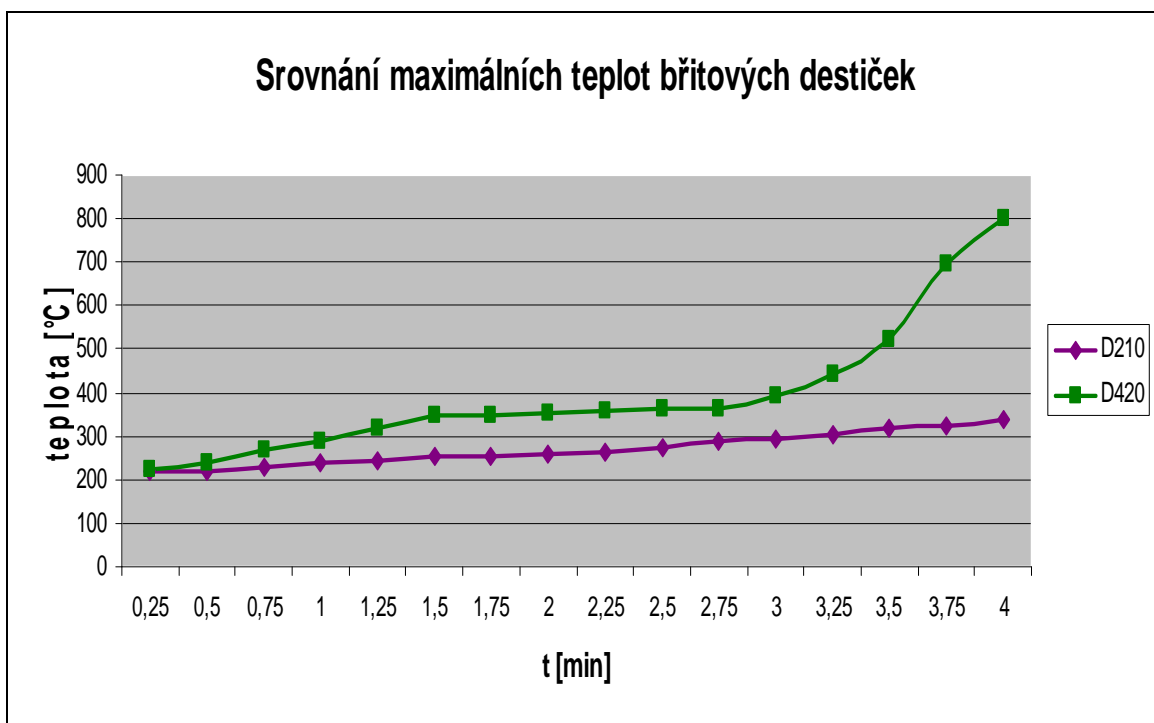
Graf 5.2 Závislost teploty na době obrábění

Zdroj: Tabulka č. 5.8



Graf 5.3 Závislost teploty na době obrábění

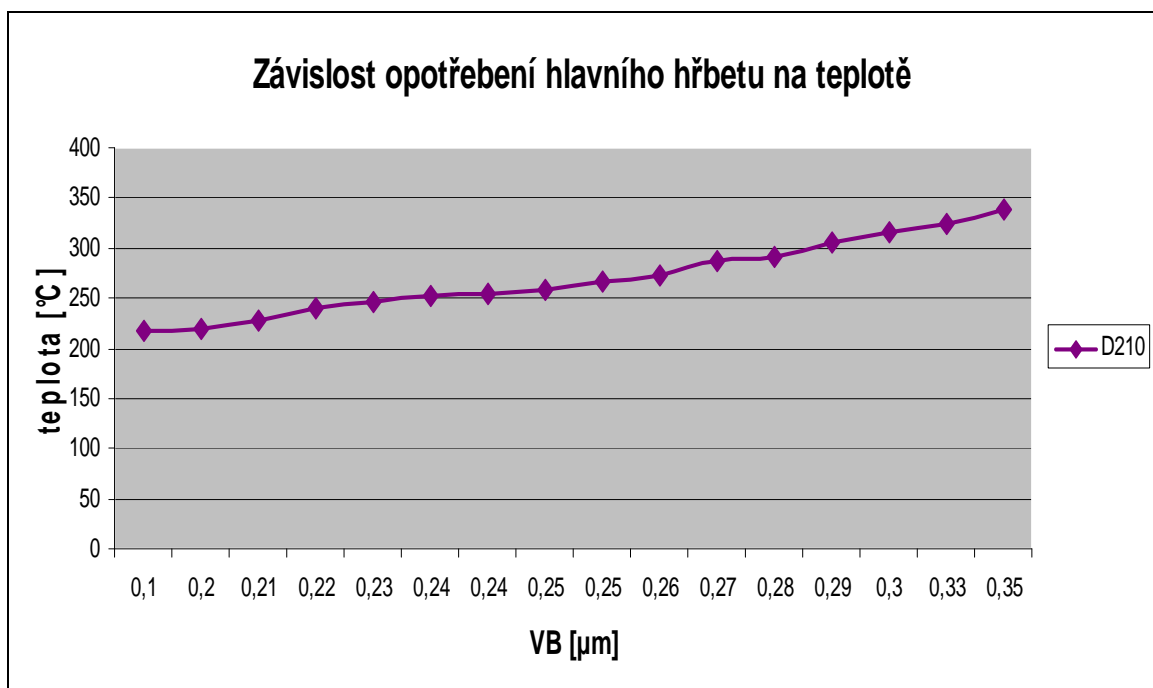
Zdroj: Tabulka č. 5.9



Graf 5.4 Srovnání teplot destiček

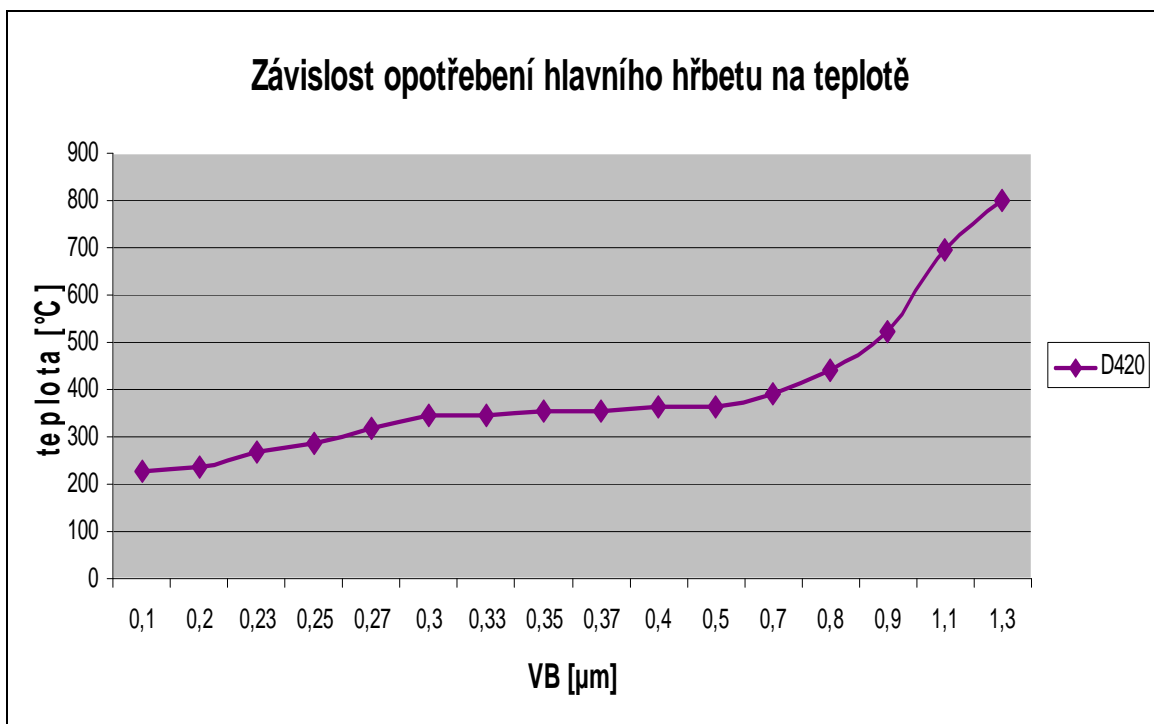
Zdroj: Tabulka č. 5.8, 5.9

Také při vynesení závislosti maximální dosažené teploty na velikosti opotřebení pro destičku D210 v grafu 5.5 a destičku D420 v grafu 5.6 jsou vidět výrazné odlišnosti. Pro přehlednější srovnání byly křivky vyneseny do společného grafu 5.7, který jasně ukazuje menší hodnotu opotřebení destičky D210 při nižší dosažené teplotě již ze startu testu, což je v kontrastu s destičkou D420, kde je možné pozorovat výraznější nárůst teploty s přibývajícím opotřebováním.



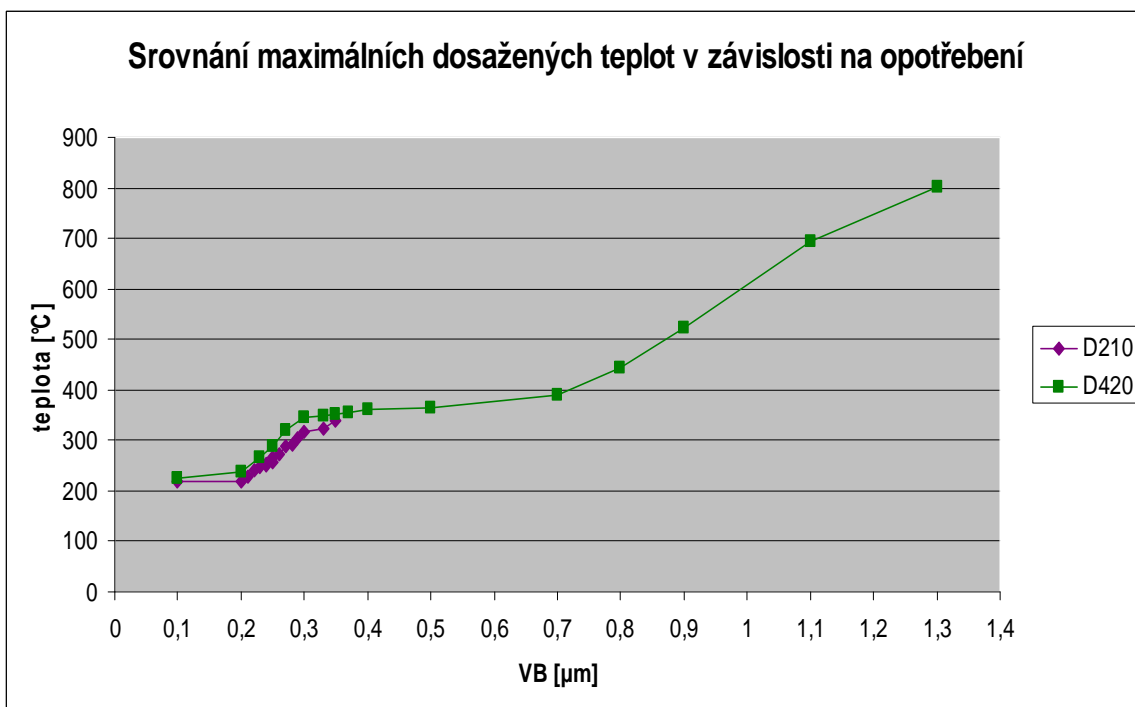
Graf 5.5 Závislost opotřebení na teplotě

Zdroj: Tabulka č. 5.8



Graf 5.6 Závislost opotřebení na teplotě

Zdroj: Tabulka č. 5.9



Graf 5.7 Srovnání závislosti teploty na opotřebení

Zdroj: Tabulka č. 5.8, 5.9

6. Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo srovnání dvou břitových destiček D210 a D420 vyrobených firmou Saint Gobain Advanced Ceramics s.r.o, Turnov při soustružení litiny ČSN 42 2425.

Jak vyplývá z výsledků, prokazatelně kvalitnější pro tento druh litiny a při stanovených podmínkách se ukázala destička D210. Již po pár úvodních měřeních byla zřejmá větší opotřebovanost destičky D420, což vedlo také ke značnému zvýšení maximálních teplot snímaných termokamerou z povrchu destičky. Zhodnoceny mohly být pouze teplotní hodnoty odečtené z termokamery, protože rozsah pyrometru byl až od 550 °C. Této hodnoty nebylo s použitím destičky D210 vůbec dosaženo.

Po provedení tohoto měření a vyhodnocení všech výsledků byla jednoznačně výrobcí doporučena destička D210, která i při svém opotřebení lépe odváděla teplo z místa řezu. Tento fakt zajišťuje možnost použití destičky po delší dobu při zachování kvality povrchu a tím snížení výrobních nákladů.

Seznam použité literatury

- [1] ŠTĚPÁNEK R. *Návrh experimentálního studia měření teplot při soustružení*. Disertační práce, Ostrava, VŠB 2005.
- [2] *Základní pojednání o snímačích, čidlech a měření teploty obecně*. [online]
URL: <<http://www.mybox.cz/valter/Pdf/cidla.pdf>> [citováno 3.listopadu 2008].
- [3] *Základy bezdotykového měření teploty pásmovým radiačním pyrometrem*. [online]
URL: <<http://pyrometrie.sweb.cz/Zaklady.htm>> [citováno 15.října 2008].
- [4] *Thermopile sensors = radiační pyrometry*. [online]
URL: <<http://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/ART189-thermopile-sensors--radiacni-pyrometry.html>> [citováno 10.listopadu 2008].
- [5] MRKVICA, Ivan. *Návody ke cvičení z obráběcích strojů 1. část*, VŠB-TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA, Ostrava 2006, 148 s., ISBN 80-248-1053-0
- [6] *Bezdotykové měření teploty*. [online]
URL: <http://www.newport.cz/techinfo/PDF/techinfo_1.pdf> [citováno 3.listopadu 2008].
- [7] *Fyzikální základy vědy o materiálu*. [online]
URL: <<http://www.ped.muni.cz/wphy/FyzV1a/FMkomplet3.htm>>
[citováno 3.listopadu 2008].
- [8] *Specifikace řezné keramiky*. [online]
URL: <<http://www.sgac-turnov.cz/index.php?content=210&lang=cs>>
[citováno 5.listopadu 2008].
- [9] *Serie KTR 1085*. [online]
URL: <<http://www.maurer-ir.de/>> [citováno 16.dubna 2009].

- [10] *Technical specifications*. [online]
URL: <[http://www.bis.fm/assets/documents/faxdatasheets/FLIR%20E45%20Datash
eet.pdf](http://www.bis.fm/assets/documents/faxdatasheets/FLIR%20E45%20Datasheet.pdf)> [citováno 16.dubna 2009].
- [11] *Vnější soustružení*. [online]
URL: <[http://www.winter-
servis.cz/index.php?page=taegutec/oi_vnejsi_soustruzeni](http://www.winter-servis.cz/index.php?page=taegutec/oi_vnejsi_soustruzeni)> [citováno
21.dubna 2009].
- [12] *Keramika* [online]
URL: <<http://www.ateam.zcu.cz/keramika.pdf>> [citováno 14.března 2009].
- [13] *Termografie – bezkontaktní měření povrchových teplot*. [online]
URL: <<http://diagnostikastaveb.cz/nabidka-sluzeb/termovize-5>>
[citováno 2.května 2009].
- [14] *Termovize*. [online]
URL: <<http://www.termovize.com/>> [citováno 2.května 2009].

Přílohy

Příloha č.I.: Materiálový list ČSN 42 2425
 [čerpáno z registru firmy S-Kunststofftechnik s.r.o.]